

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 15 010.9

**Anmeldetag:** 05. April 2002

**Anmelder/Inhaber:** Covion Organic Semiconductors GmbH,  
Frankfurt am Main/DE

**Bezeichnung:** Rhodium- und Iridium-Komplexe

**IPC:** C 07 F, H 01 L, C 09 K

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. Juni 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

102 15 010.9

## Beschreibung

## 5 Rhodium- und Iridium-Komplexe

Metallorganische Verbindungen - speziell Verbindungen der d<sup>8</sup>-Metalle - werden in naher Zukunft als Wirkkomponenten (= Funktionsmaterialien) in einer Reihe von verschiedenartigen Anwendungen, die im weitesten Sinne der Elektronikindustrie zugerechnet werden können, Einsatz als funktionelle Komponenten finden.

Bei den auf organischen Komponenten basierenden Organischen-Elektrolumineszenz-Vorrichtungen (allg. Beschreibung des Aufbaus vgl. US-A-4,539,507 und US-A-5,151,629) bzw. deren Einzelbauteilen, den Organischen-Lichtemittierenden-Dioden (OLEDs) ist die Markteinführung bereits erfolgt, wie die erhältlichen Auto-Radios mit "Organischem Display" der Firma Pioneer belegen. Weitere derartige Produkte stehen kurz vor der Einführung. Trotz allem sind hier noch deutliche Verbesserungen nötig, um diese Displays zu einer echten Konkurrenz zu den derzeit marktbeherrschenden Flüssigkristallanzeigen (LCD) zu machen bzw. diese zu überflügeln.

Eine Entwicklung hierzu, die sich in den letzten beiden Jahren abzeichnet, ist der Einsatz von metallorganischen Komplexen, die Phosphoreszenz statt Fluoreszenz zeigen [M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, S. R. Forrest, Applied Physics Letters, 1999, 75, 4-6].

Aus theoretischen Spin-statistischen Gründen ist unter Verwendung metallorganischer Verbindungen als Phosphoreszenz-Emitter eine bis zu vierfache Energie- und Leistungseffizienz möglich. Ob sich diese neue Entwicklung durchsetzen wird, hängt stark davon ab, ob entsprechende Device-Kompositionen gefunden werden können, die diese Vorteile (Triplet-Emission = Phosphoreszenz gegenüber Singulett-Emission = Fluoreszenz) auch in den OLEDs umsetzen können. Als wesentliche Bedingungen für praktische Anwendung sind hier insbesondere eine hohe operative Lebensdauer, eine hohe Stabilität gegenüber

Temperaturbelastung und eine niedrige Einsatz- und Betriebsspannung, um mobile Applikationen zu ermöglichen, zu nennen.

Daneben muß der effiziente chemische Zugang zu den entsprechenden Organometall-Verbindungen gegeben sein. Von besonderem Interesse sind dabei Organorhodium- und Iridium-Verbindungen. Bei diesen ist vor allem unter Berücksichtigung des Rhodium- bzw. des Iridiumpreises von maßgebender Bedeutung, dass ein effizienter Zugang zu entsprechenden Derivaten ermöglicht wird.

In der Literatur wurden bis jetzt zwei Bautypen von OLEDs, die Phosphoreszenzemitter als fargebende Komponenten aufweisen, beschrieben. Der erste Typ (Typ 1) hat typischerweise den folgenden Schicht-Aufbau [M. E. Thompson et. al., Proceedings of SPIE, 31.07 - 02.08.2000, San Diego, USA, Volume 4105, Seite 119 - 124]:

1. Trägerplatte = Substrat (üblicherweise Glas oder Kunststofffolien).
2. Transparente Anode (üblicherweise Indium-Zinn-Oxid, ITO).
3. Lochtransport-Schicht: üblicherweise auf Basis von Triarylamin-Derivaten.
4. Elektronentransport- und Emissions-Schicht: diese Schicht besteht aus einem Elektronentransportmaterial, das mit dem Phosphoreszenzemitter dotiert ist.
5. Elektronentransport-Schicht: größtenteils auf Basis von Aluminium-tris-8-hydroxy-chinoxalinat (AlQ<sub>3</sub>).
6. Kathode: hier werden in der Regel Metalle, Metallkombinationen oder Metalllegierungen mit niedriger Austrittsfunktion verwendet so z. B. Al-Li.

Der zweite Typ (Typ 2) hat typischerweise den folgenden Schicht-Aufbau [T. Tsutsui et al. Jpn. J. Appl. Phys., 1999, 38, L 1502 - L 1504]:

1. Trägerplatte = Substrat (üblicherweise Glas oder Kunststofffolien).
2. Transparente Anode (üblicherweise Indium-Zinn-Oxid, ITO).
3. Lochtransport-Schicht: üblicherweise auf Basis von Triarylamin-Derivaten.
4. Matrix- und Emissions-Schicht: diese Schicht besteht aus einem Matrixmaterial üblicherweise auf Basis von Triarylamin-Derivaten, das mit dem Phosphoreszenzemitter dotiert ist.
5. Elektronentransport-/Lochblockier-Schicht: üblicherweise auf Basis von Stickstoff-Heterocyclen.

6. Elektronentransport-Schicht: größtenteils auf Basis von  $\text{X}_2\text{M-tris-8-hydroxy-chinoxalinal}$  ( $\text{AlQ}_3$ ).
7. Kathode: hier werden in der Regel Metalle, Metallkombinationen oder Metalllegierungen mit niedriger Austrittsfunktion verwendet, so z. B. Al.
- Es ist auch möglich das Licht aus einer dünnen transparenten Kathode auszukoppeln. Diese Vorrichtungen werden entsprechend (je nach Anwendung) strukturiert, kontaktiert und schließlich auch hermetisch eingeseigelt, da sich i. d. R. die Lebensdauer derartiger Vorrichtungen bei Anwesenheit von Wasser und/oder Sauerstoff drastisch verringert.

10

Die Kenndaten der oben beschriebenen OLED's zeigen zwei Schwachpunkte auf: Zum einen, sind die bisher beschriebenen Phosphoreszenzmitter auf der Basis von tris-orthometallierten Iridium-Komplexen zum Bau von effizienten blauen und insbesondere von tief blauen OLED's nicht geeignet, da keiner der bekannten Phosphoreszenzmitter im tief blauen, d.h. bei einer Emissionswellenlänge  $\lambda_{\text{max}}$  von kleiner als 465 nm emittiert.

Tief blaue Phosphoreszenzmitter sind jedoch insbesondere zur Herstellung von Vollfarbdisplays, für welche die Grundfarben ROT-GRÜN-BLAU verfügbar sein müssen, von entscheidender Bedeutung.

20

Zum anderen, geht aus den Effizienz - Helligkeits - Kurven hervor, dass die Effizienz mit steigender Helligkeit stark abnimmt. Dies bedeutet, dass die in der Praxis notwendigen großen Helligkeiten nur über eine hohe Leistungsaufnahme erreicht werden können. Große Leistungsaufnahmen setzen aber große Batterieleistungen portabler Geräte (Mobile-Phones, Lap-Tops etc.) voraus. Außerdem kann die große Leistungsaufnahme, die zum großen Teil in Wärme umgesetzt wird, zur thermischen Schädigung des Displays führen.

25

Aus diesen Mängeln im Stand der Technik ergeben sich die folgenden Aufgaben. Zum einen besteht Bedarf zur Erzeugung von z. B. blauen - insbesondere tiefblauen - Triplett-Emittern gegeben, zum anderen müssen Triplett-Emitter

30

bereitgestellt werden, die auch bei großen Helligkeiten möglichst lineare Effizienz - Helligkeits - Kurven aufweisen.

5'-Mono-, 5',5'-Di- und 5',5'',5'''-Tris-cyano-funktionalisierte tris-orthometallierte Organo-Rhodium- und Organo-Iridium-Verbindungen - gemäß Verbindungen (IIa) oder (II/IIa)-, die Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind, werden zentrale Schlüsselbausteine zur Erzeugung hocheffizienter Triplett-Emitter sein. Über eine entsprechende Cyano-Funktionalisierung können entscheidende Materialeigenschaften wie die Wellenlänge der Phosphoreszenzmission, d.h. die Farbe, die Phosphoreszenzquantenausbeute und die Redox- und Temperaturstabilität der Emitter, um nur einige Eigenschaften beispielhaft zu nennen, eingestellt werden.

10

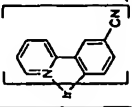
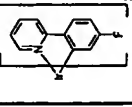
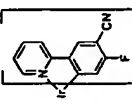
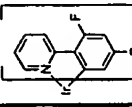
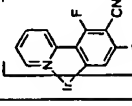
Die Klasse der 5'-Mono-, 5',5'-Di- und 5',5'',5'''-Tris-cyano-funktionalisierten tris-orthometallierten Organo-Rhodium- und Organo-Iridium-Verbindungen - gemäß Verbindungen (IIa) oder (II/IIa) - ist neu und bisher in der Literatur nicht beschrieben worden, ihre effiziente Darstellung und Verfügbarkeit als Reinstoffe ist aber für eine Reihe von elektro-optischen Anwendungen von großer Bedeutung.

15

Überraschend wurde nun gefunden, dass die Wellenlänge der Phosphoreszenzmission eines Triplett-Emitters, d.h. die "Farbe" des emittierten Lichtes, bei Einführung Cyano-Funktionen in die 5'-, 5''- bzw. die 5'''-Position eine hypsochrome Verschiebung erfährt (s. Tabelle 1).

20

5  
Tabelle 1: Einfluß der 5-Substituenten auf Absorption und Photolumineszenz

Referenz zu Beispiel 1	Referenz zu Beispiel 2	Referenz zu Beispiel 2	Referenz zu Beispiel 3	Beispiel 3
				
$\lambda_{max}$ Emission 535 nm	$\lambda_{max}$ Emission 514 nm	$\lambda_{max}$ Emission 464 nm	$\lambda_{max}$ Emission 470 nm	$\lambda_{max}$ Emission 442 nm
grün	tief grün	hellblau	cyan	tiefblau

$\lambda_{max}$  Emission Maximum der Elektrolumineszenzbande

5 Neben dem direkten Einsatz von 5'-Mono-, 5',5"-Di- und 5',5'',5'''-Tri-cyanofunktionalisierten tris-orthometallierten Organo-Rhodium- und Organo-Iridium-Verbindungen (gemäß Verbindungen (IIa) oder (IIIa)), die Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind, in Licht-emittierenden Vorrichtungen werden diese auch zentrale Schlüsselbausteine zur Erzeugung hocheffizienter Triplett-Emitter sein, da die Cyanofunktion mit Hilfe von gängigen, in der Literatur beschriebenen Methoden in eine Vielzahl von Funktionen umgewandelt werden kann. Ausgehend von den genannten Strukturen eröffnen literaturbekannte Methoden den Zugang zu Alkoholen, Aminen, Aldehyden und Carbonsäuren sowie deren Derivate aber auch zu Heterocyclen wie Azolen, Diazolen, Triazolen, Oxazolinen, Oxazolen, Oxadiazolen, Thiazolen, Thiodiazolen etc. sowie deren benzokondensierten Derivaten.

15 5'-Mono-, 5',5"-Di- und 5',5'',5'''-Tri-cyano-tris-orthometallierte Organo-Rhodium- und Organo-Iridium-Verbindungen sowie Verfahren zu ihrer Herstellung sind neu und bisher in der Literatur nicht beschrieben worden. Diese gilt insbesondere für die Cyanierung halogenierter, aromatischer - an das Metallzentrum gebundener - Liganden, d. h. der Cyanierung am Metall-Komplexes durch den Austausch der

6 Halogen durch die Cyanofunktion. Die effiziente Darstellung und Verfügbarkeit dieser Cyano-Verbindungen als Reinstoffe ist aber für verschiedene elektro-optische Anwendungen von großer Bedeutung.

5 Es wurde überraschend gefunden, dass die neuen Cyano-substituierten Organometallverbindungen (IIa) oder (IIIa) - gemäß Schema 1 und 2 - ausgehend von den 5'-Mono-, 5',5"-Di- und 5',5'',5'''-Tri-halogen-substituierten tris-orthometallierten Organo-Rhodium bzw. Organo-Iridium-Verbindungen (III) bzw. (IV) [Darstellung gemäß der nicht offengelegten DE 10109027.7], d. h. ausgehend von metallorganischen Arylhalogeniden - durch stöchiometrische Umsetzung mit einem Übergangsmetallcyanid oder durch katalytische Umsetzung mit einem Übergangsmetallcyanid, gegebenenfalls in Anwesenheit eines Übergangsmetalls, einer Übergangsmetallverbindung und eines Phosphor-haltigen Additivs, sowie unter geeigneter Wahl der Reaktionsparameter wie Reaktionstemperatur, Reaktionsmedium, Konzentration und Reaktionszeiten reproduzierbar in etwa 90 - 98 % iger Ausbeute, ohne Verwendung chromatographischer Reinigungsverfahren, gegebenfalls nach Umkristallisation, in Reinheiten von > 99 % nach NMR bzw. HPLC erhalten werden (siehe Beispiele 1-6).

20 Das oben beschriebene Verfahren zeichnet sich durch drei Eigenschaften besonders aus:

Erstens ist die selektive 5'-Mono-, 5',5"-Di- und 5',5'',5'''-Tri-Cyanierung von koordinativ gebundenen Arylhalogeniden - d. h. von metallorganischen Arylhalogeniden - unerwartet und in dieser Form nicht bekannt.

Zweitens ist der hohe erzielte Umsatz, der sich in den reproduzierbar sehr guten Ausbeuten an isoliertem Produkt widerspiegelt, unerwartet und einzigartig für die Cyanierung von koordinativ gebundenen Arylhalogeniden.

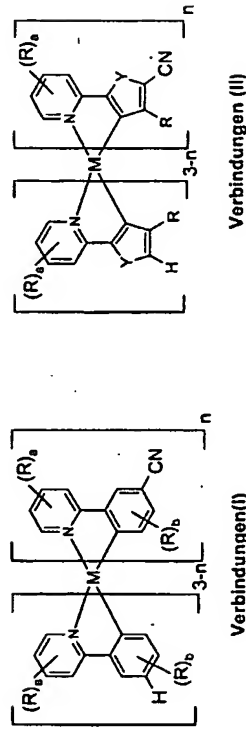
30 Drittens fallen die erhaltenen Verbindungen ohne aufwendige chromatographische Reinigung, gegebenenfalls nach Umkristallisation, in sehr guten Reinheiten von > 99 % nach NMR bzw. HPLC an. Dies ist für die Verwendung in opto-

elektronischen Bauelementen, bzw. der Benutzung als Zwischenprodukte für die Darstellung entsprechender Verbindungen essentiell.

Wie oben geschildert, sind die erfindungsgemäßen Verbindungen nicht vorbeschrieben und damit neu.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind somit die Verbindungen (I) und (II), gemäß Schema 1.

Schema 1:



wobei die Symbole und Indizes folgende Bedeutung haben:

M Rh, Ir,

Y O, S, Se;

R ist gleich oder verschieden bei jedem Auftreten H, F, Cl,  $\text{NO}_2$ , CN, eine geradkettige oder verzweigte oder cyclische Alkyl- oder Alkoxygruppe mit 1 bis 20 C-Atomen, wobei ein oder mehrere nicht benachbarte  $\text{CH}_2$ -Gruppen durch -O-, -S-,  $-\text{NR}^1$ -, oder  $-\text{CONR}^2$ - ersetzt sein können und wobei ein oder mehrere H-Atome durch F ersetzt sein können, oder eine Aryl- oder Heteroarylgruppe mit 4 bis 14 C-Atomen, die durch einen oder mehrere, nicht aromatische Reste R substituiert sein kann; wobei mehrere Substituenten R, sowohl am selben Ring als auch an den beiden unterschiedlichen Ringen zusammen wiederum ein weiteres mono- oder polycyclisches Ringsystem aufspannen können;

$\text{R}^1, \text{R}^2$  sind gleich oder verschieden, H oder ein aliphatischer oder aromatischer Kohlenwasserstoffrest mit 1 bis 20 C-Atomen;

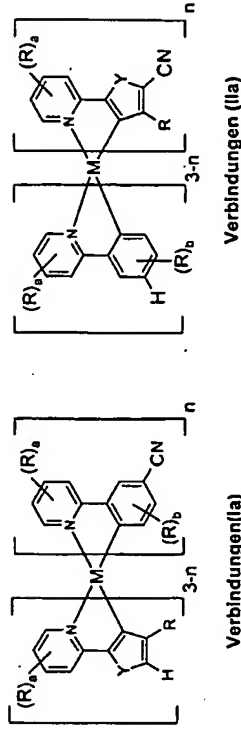
a ist 0, 1, 2, 3 oder 4, bevorzugt 0, 1 oder 2, besonders bevorzugt 0 oder 1;

b ist 0, 1, 2 oder 3, bevorzugt 0 oder 1;

n ist 1, 2 oder 3

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sind solche Rh- bzw. Ir-Komplexe, die gleichzeitig Liganden vom Typ wie bei Verbindungen (I) und solche von Verbindungen (II) aufweisen, d.h. gemischte Ligandensysteme. Diese werden durch die Formeln (Ia) und (IIa) - gemäß Schema 2 - beschrieben:

Schema 2:

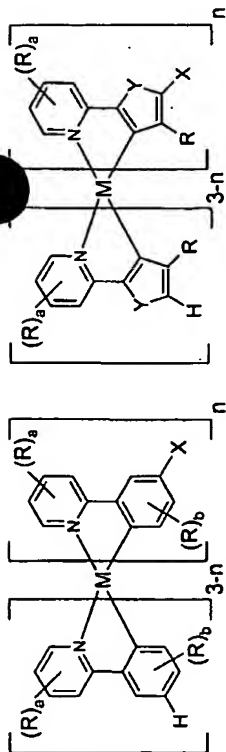


wobei die Symbole und Indizes die unter den Formeln (I) und (II) genannten Bedeutungen haben.

Bevorzugt sind erfindungsgemäße Verbindungen (Ia), (II) und (IIa), bei denen für das Symbol Y = O, S gilt.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung, ist ein Verfahren zur Herstellung der Verbindungen (I) bzw. (II), durch Umsetzung der Verbindungen (III) bzw. (IV).

9



Verbindung (III)

Verbindung (IV)

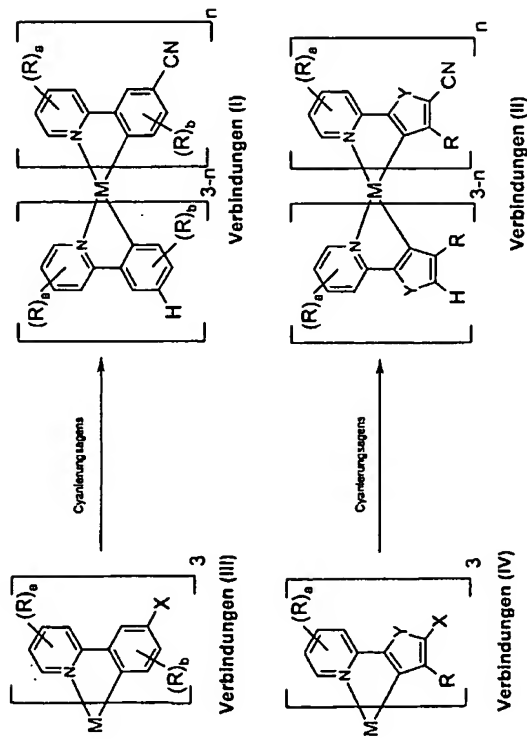
worin:

X Cl, Br oder I ist,

und M, die Reste R und die Indizes a, und b und n die unter Verbindung (I) bzw. (II) genannten Bedeutungen haben, mit einem Cyanierungsagens.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird durch Schema 2 erläutert:

Schema 2:



Verbindungen (III)

Verbindungen (I)

Verbindungen (IV)

Verbindungen (II)

10

Erfindungsgemäße Cyanid-Quellen sind Verbindungen, die das Cyanidion in ionischer oder koordinativ gebundener Form enthalten; so z.B. Natrium-, Kalium-, Magnesium-, Tetraethylammonium-, Tetrabutylammonium-, Nickel(II)-, Kupfer(I)-, Silber(I)-, Zink(II)cyanid oder Natrium- und Kaliumdicyanocuprat(I), -tetracyanocuprat(II), -tetracyanozinkat(II), -tetracyanonickelat(II), -tetracyanopalladat(II).

Bevorzugte Cyanierungsagentien sind zum einen Übergangsmetallcyanide so z.B. Kupfer(I)cyanid oder Nickel(II)cyanid. Diese Cyanierungsagentien werden nachfolgend Cyanierungsagentien (1) genannt..

Ein weiteres bevorzugtes Cyanierungsagens ist Zink(II)cyanid in Gegenwart von Zink, und in Gegenwart von Nickel oder Palladium bzw. einer Nickel- oder Palladiumverbindung sowie gegebenenfalls eines Phosphor-haltigen Additivs. Diese Cyanierungsagentien werden nachfolgend Cyanierungsagentien (2) genannt.

Erfindungsgemäßes Nickel bzw. Nickelverbindungen für die Cyanierungsagentien (2) sind z.B. elementares Nickel, Nickelschwamm, Nickel auf Kieselgur, Nickel auf Aluminiumoxid, Nickel auf Silica, Nickel auf Kohle, Nickel(II)acetat, Nickel(II)acetylacetonat, Nickel(II)chlorid, -bromid, -iodid, Additionsverbindungen des Typs  $NiL_2X_2$  wobei X Chlor, Brom, Iod und L einem neutralen Liganden wie z. B. Ammoniak, Acetonitril, Propionitril, Benzonnitril, entspricht, Nickel(II)nitrat, Nickel(II)sulfat, Nickel(II)oxalat, Bis-cyclooctadiennickel(0).

Erfindungsgemäßes Palladium bzw. Palladiumverbindungen für die Cyanierungsagentien (2) sind z.B. elementares Palladium, Palladiumschwamm, Palladiumschwarz, Palladium auf Aktivkohle, Palladium auf Aluminiumoxid, Palladium auf Silica, Palladium auf Alkali- bzw. Erdalkalicarbonaten wie Natrium-, Kalium-, Calcium-, Strontium- oder Bariumcarbonat, Palladium auf Strontium- oder Bariumsulfat, bzw. Palladiumverbindungen wie z.B. Palladium(II)acetat, Palladium(II)trifluoroacetat, Palladium(II)propionat, Palladium(II)acetylacetonat, Palladium(II)chlorid, -bromid, -iodid, Additionsverbindungen des Typs  $PdL_2X_2$  wobei X Chlor, Brom, Iod und L einem neutralen Liganden wie z. B. Ammoniak, Acetonitril, Propionitril, Benzonnitril, Cyclooctadien entspricht, Palladium(II)nitrat,

Das erste gemessene molare Verhältnis des Phosphor-haltigen Additivs zu Nickel, einer Nickelverbindung, Palladium oder einer Palladiumverbindung beträgt 0.5 : 1 bis 1000 : 1.

Erfindungsgemäße Reaktionsmedien sind dipolar aprotische Lösemittel so z. B. Nitrile wie Acetonitril, Propionitril oder Benzonnitril oder N,N-Dialkylamide wie Dimethylformamid, Dimethylacetamid oder N-Methylpyrrolidinon, Sulfoxide wie Dimethylsulfoxid, Sulfone wie Dimethylsulfon oder Sulfolan.

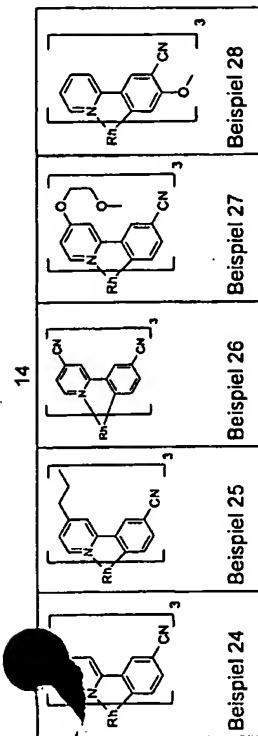
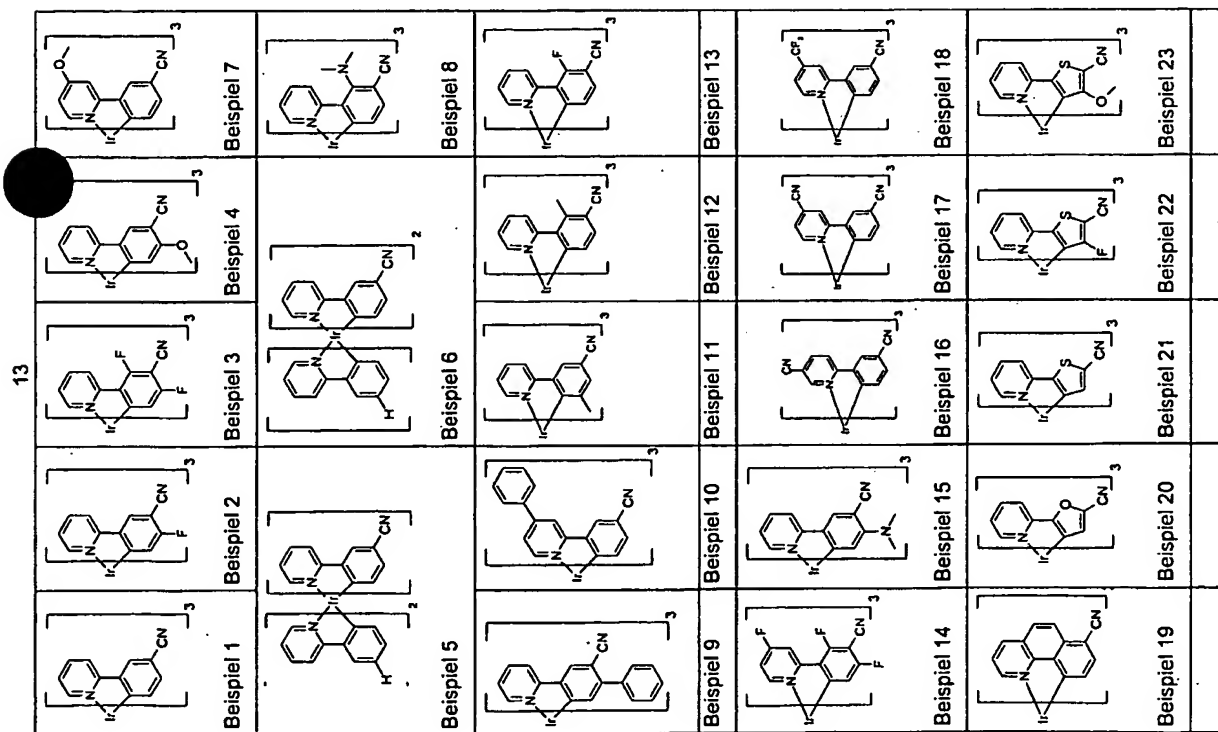
10 Erfindungsgemäß wird die Umsetzung im Temperaturbereich von 60°C bis 200°C, bevorzugt bei 80°C bis 170°C, besonders bevorzugt bei 100°C bis 160°C durchgeführt.

15 · Erfindungsgemäß liegt die Konzentration der Rhodium-haltigen bzw. Iridium-haltigen Edukte - Verbindungen (III) bzw. Verbindungen (IV) - im Bereich von 0.0005 mol/l bis 2 mol/l, besonders bevorzugt im Bereich von 0.002 mol/l bis 0.1 mol/l.

Erfindungsgemäß wird die Reaktion innerhalb von 1 Stunde bis zu 100 Stunden durchgeführt, bevorzugt innerhalb von 1 h bis 60 h.

25 Erfindungsgemäß kann die Reaktion unter Zusatz von inerten Mahlkörpern wie z. B. Keramik-, Glas- oder Metallkugeln oder Pall- oder Raschig-Ringen durchgeführt werden.

Mit den hier erläuterten Synthesemethoden lassen sich unter anderem die im folgenden dargestellten Beispiele für Verbindungen (I) bzw. (II) herstellen.



Die erfindungsgemäßen Iridium- und Rhodiumverbindungen können in elektronischen Bauteilen, wie organische Leuchtdioden (OLEDs), organischen integrierten Schaltungen (O-ICs), organischen Feld-Effekt-Transistoren (OFETs), organischen Dünnschichttransistoren (OTFTs), organischen Solarzellen (O-SCs), organischen Laserdioden (O-Laser), organischen Farbfilter für Liquid-Crystal-Displays oder organischen Photorezeptoren, Verwendung finden. Diese sind ebenfalls Bestandteil der vorliegenden Erfindung.

Die vorliegende Erfindung wird durch die folgenden Beispiele näher erläutert, ohne sie darauf beschränken zu wollen. Der Fachmann kann aus den Schilderungen ohne erfinderisches Zutun weitere erfindungsgemäße Komplexe herstellen bzw. das erfindungsgemäße Verfahren anwenden.

# 1. Synthese von symmetrisch und asymmetrisch funktionalisierten tris-ortho-metallierten Organo-Rhodium- bzw. Organo-Iridium-Verbindungen:

Die nachfolgenden Synthesen wurden - sofern nicht anders angegeben - an unter einer Schutzgasatmosphäre in getrockneten Lösungsmittel durchgeführt. Die Edukte wurden von ALDRICH [Natriumcyanid, Kupfer(I)cyanid, Zink(II)cyanid, Zink, Tetrakis-(triphenylphosphino)palladium(0), N-Methylpyrrolidinon (NMP)] bezogen. *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl-κN)(5-bromophenyl)-κC]-iridium(III), *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl-κN)((4-fluor)-5-(brom)phenyl)-κC]-iridium(III), *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl-κN)((4,6-fluor)-5-(brom)phenyl)-κC]-iridium(III) und *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl-κN)((4-methoxy)-5-(brom)phenyl)-κC]-iridium(III) wurde, wie in der nicht offengelegten Anmeldung DE 10109027.7 beschrieben, dargestellt.



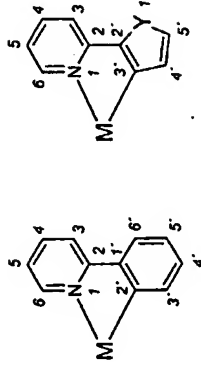
15

Die Zuordnung der  $^1\text{H}$ -NMR-Signale wurde zum Teil durch  $^1\text{H}$ -HSY-Spektren, die der  $^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ -NMR-Signale jeweils über DEPT-135-Spektren abgesichert.

Numerierungsschema für die Zuordnung der  $^1\text{H}$ -NMR-Signale [nach: C. Coudret, S. Fraysse, J.-P. Launay, Chem. Commun., 1998, 663-664]:

5

Schema 3:



Beispiel 1: *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(5-cyanophenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III)

Methode A: Verwendung eines Cyanierungsagens 1

Eine Suspension von 8.915 g (10 mmol) *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(5-bromphenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III) und 5.374 g (60 mmol) Kupfer(I)cyanid in 150 ml NMP wurde 60 h auf 145°C erhitzt. Nach Erkalten wurde die braune Lösung auf einmal in eine gut gerührte, 50°C warme Lösung von 7.4 g Natriumcyanid in einem Gemisch aus 500 ml Wasser und 500 ml Ethanol eingegossen und 2 h bei 50°C gerührt.

15

Anschließend wurde der mikrokristalline Niederschlag abfiltriert (P4). Der

mikrokristalline gelbe Niederschlag wurde dreimal mit je 100 ml einer Lösung von 7.4 g Natriumcyanid in einem Gemisch aus 500 ml Wasser und 500 ml Ethanol, dreimal mit je 100 ml eines Gemischs aus Ethanol und Wasser (1:1, v/v) und abschließend zweimal mit 100 ml Ethanol gewaschen und dann im Vakuum (60°C,  $10^{-4}$  mbar) getrocknet. Die Ausbeute - bei einer Reinheit von > 99.0 % nach  $^1\text{H}$ -NMR - betrug 7.094 - 7.236 g entsprechend 97.2 - 99.1 %.

20

Methode B: Verwendung eines Cyanierungsagens 2

Eine Suspension von 8.915 g (10 mmol) *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(5-bromphenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III), 4.403 g (37.5 mmol) Zink(II)cyanid und 98 mg (1.5 mmol) Zinkstaub in 150 ml NMP wurde mit 347 mg (0.3 mmol) versetzt und 60 h auf 100°C erhitzt.

25

16

Aufarbeitung analog Methode A. Die Ausbeute - bei einer Reinheit von > 99.0 % nach  $^1\text{H}$ -NMR - betrug 6.877 - 6.956 g entsprechend 94.2 - 95.3 %.

$^1\text{H}$ -NMR (DMSO- $d_6$ ): [ppm] = 8.41 (d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.4$  Hz, H6), 8.31 (s, 1 H, H6'), 7.94 (br. dd, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.4$  Hz,  $^3J_{\text{HH}} = 6.8$  Hz, H5), 7.54 (d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 5.4$  Hz, H3), 7.30 (br. dd, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 6.8$  Hz,  $^3J_{\text{HH}} = 5.4$  Hz, H4), 7.11 (d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.0$  Hz, H4'), 6.74 (d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.0$  Hz, H3').

5

$^{13}\text{C}\{^1\text{H}\}$ -NMR (DMSO- $d_6$ ): [ppm] = 168.5 (q), 163.0 (q), 147.3 (t), 145.6 (q), 138.3 (t), 136.7 (t), 131.7 (t), 127.3 (t), 124.6 (t), 120.5 (t), 120.4 (q), 102.8 (q).

10

Beispiel 2: *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4-fluor-5-cyanophenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III)

Methode A: Verwendung eines Cyanierungsagens 1

Eine Suspension von 9.455 g (10 mmol) *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4-fluor-5-bromphenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III) und 5.374 g (60 mmol) Kupfer(I)cyanid in 200 ml NMP wurde 60 h auf 160°C erhitzt.

15

Aufarbeitung siehe Beispiel 1, Methode A. Die Ausbeute - bei einer Reinheit von > 99.0 % nach  $^1\text{H}$ -NMR - betrug 7.638 - 7.710 g entsprechend 97.5 - 98.4 %.

$^1\text{H}$ -NMR (DMSO- $d_6$ ): [ppm] = 8.46 (d, 1 H,  $^4J_{\text{HF}} = 6.4$  Hz, H6'), 8.40 (br. d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.3$  Hz, H6), 8.01 (br. dd, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.3$  Hz,  $^3J_{\text{HH}} = 7.5$  Hz, H5), 7.48 (br. d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 5.6$  Hz, H3), 7.33 (br. dd, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 7.5$  Hz,  $^3J_{\text{HH}} = 5.6$  Hz, H4), 6.37 (d, 1 H,  $^3J_{\text{HF}} = 10.05$  Hz, H3').

20

Beispiel 3: *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4,6-difluor-5-cyanophenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III)

Methode A: Verwendung eines Cyanierungsagens 1

Eine Suspension von 9.635 g (10 mmol) *fac*-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4,6-fluor-5-bromphenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III) und 5.374 g (60 mmol) Kupfer(I)cyanid in 200 ml NMP wurde 60 h auf 160°C erhitzt.

25

Aufarbeitung siehe Beispiel 1, Methode A. Die Ausbeute - bei einer Reinheit von > 99.0 % nach  $^1\text{H}$ -NMR - betrug 7.638 - 7.710 g entsprechend 97.5 - 98.4 %.

30

$^1\text{H}$ -NMR (DMSO- $d_6$ ): [ppm] = 8.46 (br. d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.2$  Hz, H6), 8.21 (br. dd, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 8.2$  Hz,  $^3J_{\text{HH}} = 7.0$  Hz, H5), 7.47 (br. d, 1 H,  $^3J_{\text{HH}} = 5.8$  Hz, H3), 7.30 (br. dd, 1

$^1\text{H}$ ,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 7.0 \text{ Hz}$ ,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 5.8 \text{ Hz}$ ,  $\text{H4}$ ), 6.32 (dd, 1 H,  $^3\text{J}_{\text{HF}} = 1.35 \text{ Hz}$ ,  $^5\text{J}_{\text{HF}} = 1.35 \text{ Hz}$ ).

**Beispiel 4:** *fac-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4-methoxy-5-cyanophenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III)*

**Methode A:** Verwendung eines Cyanierungsagens 1

Eine Suspension von 9.816 g (10 mmol) *fac-Tris[2-(2-pyridinyl- $\kappa\text{N}$ )(4-methoxy-5-bromphenyl)- $\kappa\text{C}$ ]-iridium(III)* und 5.374 g (60 mmol) Kupfer(I)cyanid in 200 ml NMP wurde 60 h auf 145°C erhitzt.

10 Aufarbeitung siehe Beispiel 1, Methode A. Die Ausbeute - bei einer Reinheit von > 99.0 % nach  $^1\text{H}$ -NMR - betrug 7.935 - 8.030 g entsprechend 96.7 - 97.9 %.

$^1\text{H}$ NMR (DMSO- $d_6$ ): [ppm] = 8.27 (d, 1 H,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 8.4 \text{ Hz}$ , H6), 8.21 (s, 1 H, H6'), 7.94 (br. dd, 1 H,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 8.4 \text{ Hz}$ ,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 6.7 \text{ Hz}$ , H5), 7.54 (d, 1 H,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 5.1 \text{ Hz}$ , H3), 7.30 (br. dd, 1 H,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 6.7 \text{ Hz}$ ,  $^3\text{J}_{\text{HH}} = 5.1 \text{ Hz}$ , H4), 6.41 (s, 1 H, H3'), 3.48 (s, 3 H, CH<sub>3</sub>).

15 **2. Herstellung und Charakterisierung von Organischen Elektrolumineszenz-Vorrichtungen, die erfindungsgemäße Verbindungen enthalten.**

Die Herstellung von LEDs erfolgte nach dem im folgenden skizzierten allgemeinen Verfahren. Dieses mußte natürlich im Einzelfall auf die jeweiligen Gegebenheiten (z. B. Schichtdickenvariation um optimale Effizienz bzw. Farbe zu erreichen) angepaßt werden.

Allgemeines Verfahren zur Herstellung von OLEDs:

25 Nachdem man die ITO-beschichteten Substrate (z. B. Glasträger, PET-Folie) auf die richtige Größe zugeschnitten hat, werden sie in mehreren Reinigungsschritten im Ultraschallbad gereinigt (z. B. Seifenlösung, Millipore-Wasser, Isopropanol).

30 Zur Trocknung werden sie mit einer N<sub>2</sub>-Pistole abgepustet und in einem Exsikkator gelagert. Vor der Bedampfung mit den organischen Schichten werden sie mit einem Ozon-Plasma-Gerät für ca. 20 Minuten behandelt. Es kann sich empfehlen, als erste organische Schicht eine polymere Lochinjektionsschicht zu verwenden. Dies ist in der Regel ein konjugiertes, leitfähiges Polymer, wie z. B. ein Polyanilinderivat (PANI) oder eine Polythiophenderivat (z. B. PEDOT, BAYTRON P<sup>TM</sup> von BAYER). Diese wird dann durch Spin-Coaten (Lackschleudern) aufgebracht.

5 en Schichten werden der Reihe nach durch Aufdampfen in einer Hochvakuum-Anlage aufgebracht. Dabei wird die Schichtdicke der jeweiligen Schicht und die Bedampfungsrate über einen Schwingquarz verfolgt bzw. eingestellt. Es können auch - wie oben beschrieben - einzelne Schichten aus mehr als einer Verbindung bestehen, d. h. in der Regel ein Wirtsmaterial (host) mit einem Gastmaterial (guest) dotiert sein. Dies wird durch Co-Verdampfung aus zwei bzw. mehreren Quellen erzielt.

10 Auf die organischen Schichten werden noch Elektroden aufgebracht. Dies geschieht in der Regel durch thermisches Verdampfen (Balzer BA360 bzw. Pfeiffer PL S 500). Anschließend wird die durchsichtige ITO-Elektrode als Anode und die Metallelektrode (z. B. Ca, Yb, Ba-AI) als Kathode kontaktiert und die Device-Parameter bestimmt.

**Beispiel 5:**

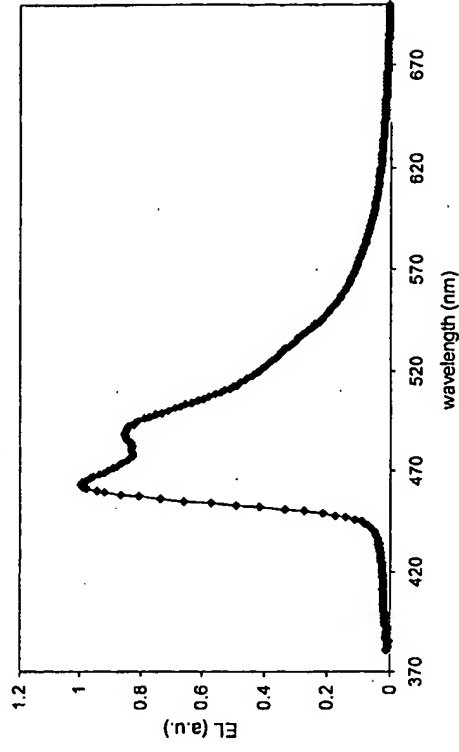
15 Analog dem o. g. allgemeinen Verfahren, wurde eine blau emittierende OLED mit folgendem Aufbau erzeugt:

PEDOT	20 nm (aus Wasser aufgeschleudert; PEDOT bezogen von BAYER AG; Poly-[3,4-ethylenedioxy-2,5-thiophen])
MTDATA	20 nm (aufgedampft; MTDATA bezogen von SynTec; Tris-4,4'-(3-methylphenyl-phenylamino)triphenylamin)
S-TAD	20 nm (aufgedampft; S-TAD hergestellt nach WO99/12888; 2,2',7,7'-Tetrakis(diphenylamino)-spirobifluoren)
CPB	20 nm (aufgedampft; CPB bezogen von ALDRICH und weiter aufgereinigt, schließlich noch zweimal sublimiert; 4,4'-Bis-(N-carbazolyl)biphenyl) dotiert mit 6%
Triplet-Emitter	<i>fac-Tris[2-(2-pyridinyl-<math>\kappa\text{N}</math>)(4-fluor-5-cyanophenyl)-<math>\kappa\text{C}</math>]-iridium(III)</i> <i>vergleiche Beispiel 3</i>
BCP	8 nm (aufgedampft; BCP bezogen von ABCR, verwendet wie erhalten; 2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthrolin)
AlQ <sub>3</sub>	20 nm (aufgedampft; AlQ <sub>3</sub> bezogen von SynTec; Tris(chinoxalinato)aluminim(III))
Yb	150 nm als Kathode

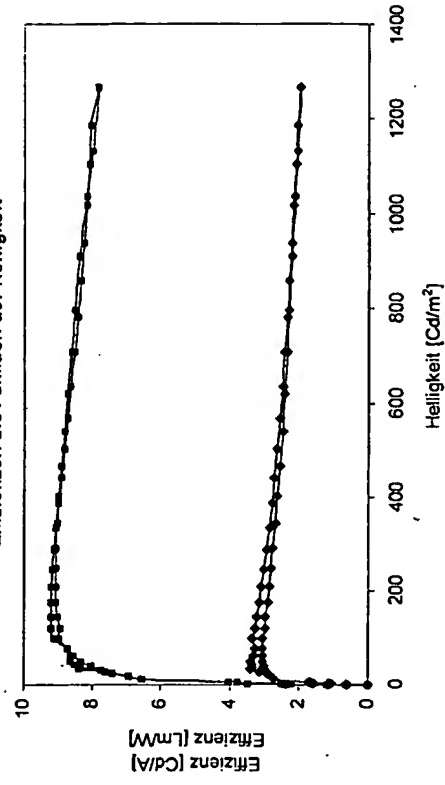
Diese nicht optimierte OLED wurde standardmäßig charakterisiert, das EL-Spektrum ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Neben der Farbe ist ein enormer Vorteil dieser OLED ist die Flachheit der Effizienzkurve, was bedeutet, dass auch bei sehr hohen Helligkeiten (z. B.  $10000 \text{ Cd/m}^2$ ) immer noch sehr hohe Effizienzen erzielt werden. Dies ist v. a. für die Verwendung in Passiv-Matrix-getriebenen Displays von entscheidender Bedeutung.

Kennndaten der OLED nach Beispiel 1

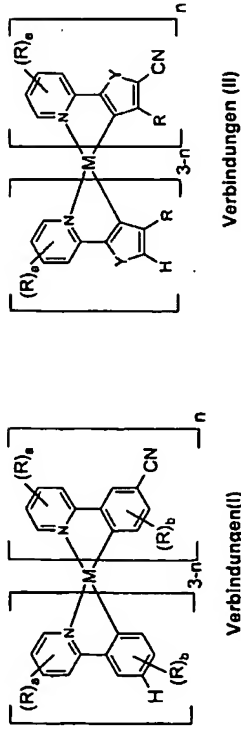
EL-Spektrum nach Beispiel 1



Effizienzen als Funktion der Helligkeit



## 1. Verbindungen der Formel (I) und (II),



5 wobei die Symbole und Indizes folgende Bedeutung haben:

M Rh, Ir;

Y O, S, Se;

R ist gleich oder verschieden bei jedem Auftreten H, F, Cl, NO<sub>2</sub>, CN, eine geradkettige oder verzweigte oder cyclische Alkyl- oder Alkoxygruppe mit 1 bis 20 C-Atomen, wobei ein oder mehrere nicht benachbarte CH<sub>2</sub>-Gruppen durch -O-, -S-, -NR<sup>1</sup>-, oder -CONR<sup>2</sup>- ersetzt sein können und wobei ein oder mehrere H-Atome durch F ersetzt sein können, oder eine Aryl- oder Heteroarylgruppe mit 4 bis 14 C-Atomen, die durch einen oder mehrere, nicht aromatische Reste R substituiert sein kann; wobei mehrere Substituenten R, sowohl am selben Ring als auch an den beiden unterschiedlichen Ringen zusammen wiederum ein weiteres mono- oder polycyclisches Ringsystem aufspannen können;

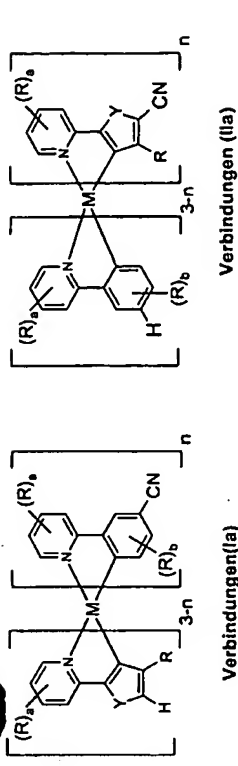
R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> sind gleich oder verschieden, H oder ein aliphatischer oder aromatischer Kohlenwasserstoffrest mit 1 bis 20 C-Atomen;

a ist 0, 1, 2, 3 oder 4, bevorzugt 0, 1 oder 2, besonders bevorzugt 0 oder 1;

b ist 0, 1, 2 oder 3, bevorzugt 0 oder 1;

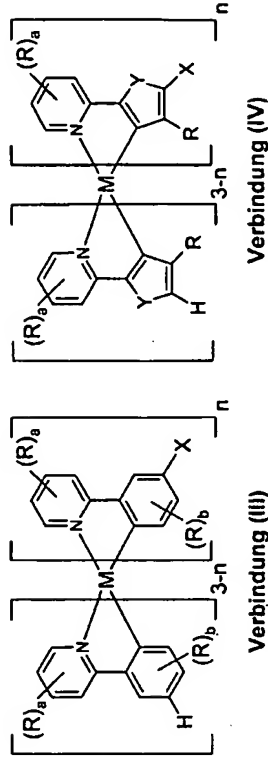
n ist 1, 2 oder 3

## 2. Verbindungen der Formel (Ia) und (IIa)



wobei die Symbole und Indizes die Bedeutungen wie in Anspruch 1 haben.

## 3. Verfahren zur Herstellung der Verbindungen gemäß Anspruch 1, durch Umsetzung der Verbindungen (III) bzw. (IV),



10 worin

X Cl, Br oder I ist und worin M und die Reste und Indizes Y, R, a, und b die in Anspruch 1 genannten Bedeutungen haben, mit Cyanierungsagentien.

## 4. Verfahren gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als

15 Cyanierungsagentien Systeme mit Cyanid-Quellen, die das Cyanidion in ionischer oder koordinativ gebundener Form enthalten, verwendet werden.

## 5. Verfahren gemäß Anspruch 3 und / oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass als Cyanierungsagentien Kupfer(I)cyanid oder Nickel(II)cyanid verwendet werden.

20

6. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Cyanierungsagens Zink(II)cyanid in Gegenwart von Zink und in Gegenwart von Nickel oder Palladium bzw. einer Nickel- oder Palladiumverbindung sowie gegebenenfalls eines Phosphor-haltigen Additivs verwendet wird.

5

7. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass das molare Verhältnis der Cyanierungsagentien (1) und (2) zu den Verbindungen (III) bzw. (IV)  $1n : 1$  bis  $10n : 1$ , bevorzugt  $1.5n : 1$  bis  $3n : 1$  beträgt.

10

8. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 3, 6 und 7 dadurch gekennzeichnet, dass molare Verhältnis von Zink(II)cyanid zu Zink in den Cyanierungsagentien (2)  $1 : 0.1$  bis  $1 : 0.001$ , bevorzugt  $1 : 0.05$  bis  $1 : 0.005$  beträgt.

15

9. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 3 und 6 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Nickel, einer Nickelverbindung, Palladium oder einer Palladiumverbindung zu den Verbindungen (III) bzw. (IV)  $0.1n : 1$  bis  $0.0001n : 1$  beträgt.

20

10. Verfahren gemäß einem oder mehreren der Ansprüche 3 und 6 bis 9 dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis des Phosphor-haltigen Additivs zu Nickel, einer Nickelverbindung, Palladium oder einer Palladiumverbindung beträgt  $0.5 : 1$  bis  $1000 : 1$ .

25

11. Elektronisches Bauteil enthaltend mindestens eine Verbindung gemäß einem der Ansprüche 1 und 7 oder 2.

Zusammenfassung

2002/CVG 011

Rhodium- und Iridium-Komplexe

5 Die vorliegende Erfindung beschreibt neuartige metallorganische Verbindungen die Phosphoreszenz-Emitter sind. Derartige Verbindungen sind als Wirkkomponenten (= Funktionsmaterialien) in einer Reihe von verschiedenartigen Anwendungen, die im weitesten Sinne der Elektronikindustrie zugerechnet werden können, einsetzbar.

10 Die erfindungsgemäßen Verbindungen werden durch die Formeln (I), (II) und (IIa) beschrieben.